

Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)

Journal homepage: <http://e-journal.janabadra.ac.id/index.php/JMST>

Original Article

Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya

Untoro Budi Surono^{1*} dan Ismanto¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Jl. T.R. Mataram 57 Yogyakarta 55231

*Corresponding author :

E-mail: untorobs@janabadra.ac.id

Abstract – Increasing use of plastics is a consequence of the development of technology, industry and population. On one side, plastic invention has a tremendous positive impact, because the plastic has more advantages than other materials. But on the other hand, plastics have a harmful negative impact, so it is necessary to find the solution. Alternative handling of plastic waste is converting plastic waste into fuel oil. Processing plastic waste into fuel oil can be done with the process of cracking. In this study will be designed and tested a device to process plastic waste into fuel. In this study will try to process plastics waste of PE, PP and PET by thermal cracking. The main objective of this study was to determine the best operating conditions of device designed to obtain the results of the optimal fuel. From this study it can be concluded that PP produce the most oil with LPG needs of the least and the fastest processing time. At this experiment, PET does not produce oil but produces material in powder form. Oil from PP has higher calorific value than the calorific value of diesel, petrol, LPG and kerosene. Too high the rate of heat is causes the oil produced is reduced, while the smaller the rate of heat causes the processing time becomes longer. The resulting oil from processing of PP and PE based on the content of the number of carbon atoms approaching gasoline and kerosene.

Keywords – plastic waste, rate of heat, calorific value, thermal cracking.

1. Pendahuluan

Penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi, industri dan juga jumlah populasi penduduk. Di Indonesia, kebutuhan plastik terus meningkat hingga mengalami kenaikan rata-rata 200 ton per tahun. Akibat dari peningkatan penggunaan plastik ini adalah bertambah pula sampah plastik. Berdasarkan asumsi Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), setiap hari penduduk Indonesia menghasilkan 0,8 kg sampah per orang atau secara total sebanyak 189 ribu ton sampah/hari. Dari jumlah tersebut 15% berupa sampah plastik atau sejumlah 28,4 ribu ton sampah plastik/hari (Fahlevi, 2012).

Plastik mempunyai keunggulan dibanding material yang lain diantaranya kuat, ringan, fleksibel, tahan karat, tidak mudah pecah, mudah diberi warna, mudah dibentuk, serta isolator panas dan listrik yang baik. Akan tetapi

plastik yang sudah menjadi sampah akan berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah. Sampah plastik yang dibuang sembarangan juga dapat menyumbat saluran drainase, selokan dan sungai sehingga bisa menyebabkan banjir. Sampah plastik yang dibakar bisa mengeluarkan zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan manusia.

Penanganan sampah plastik yang populer selama ini adalah dengan 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*). *Reuse* adalah memakai berulang kali barang-barang yang terbuat dari plastik. *Reduce* adalah mengurangi pembelian atau penggunaan barang-barang yang terbuat dari plastik, terutama barang-barang yang sekali pakai. *Recycle* adalah mendaur ulang barang-barang yang terbuat dari plastik. Daur ulang dilakukan dengan mengolah kembali barang-barang yang dianggap sudah tidak mempunyai nilai

ekonomis lagi melalui proses fisik maupun kimiawi atau kedua-duanya sehingga diperoleh produk yang dapat dimanfaatkan atau diperjualbelikan lagi.

Masing-masing penanganan sampah tersebut di atas mempunyai kelemahan. Kelemahan dari *reuse* adalah barang-barang tertentu yang terbuat dari plastik, seperti kantong plastik, kalau dipakai berkali-kali lama kelamaan akan tidak layak pakai. Selain itu beberapa jenis plastik tidak baik bagi kesehatan tubuh apabila dipakai berkali-kali. Kelemahan dari *reduce* adalah harus tersedianya barang pengganti plastik yang lebih murah dan lebih praktis. Sedangkan kelemahan dari *recycle* adalah bahwa plastik yang sudah didaur ulang untuk dijadikan barang plastik lagi akan semakin menurun kualitasnya.

Daur ulang (*recycle*) sampah plastik dapat dibedakan menjadi empat cara yaitu daur ulang primer, daur ulang sekunder, daur ulang tersier dan daur ulang quarter. Daur ulang primer adalah daur ulang limbah plastik menjadi produk yang memiliki kualitas yang hampir setara dengan produk aslinya. Daur ulang cara ini dapat dilakukan pada sampah plastik yang bersih, tidak terkontaminasi dengan material lain dan terdiri dari satu jenis plastik saja. Daur ulang sekunder adalah daur ulang yang menghasilkan produk yang sejenis dengan produk aslinya tetapi dengan kualitas di bawahnya. Daur ulang tersier adalah daur ulang sampah plastik menjadi bahan kimia atau menjadi bahan bakar. Daur ulang quarter adalah proses untuk mendapatkan energi yang terkandung di dalam sampah plastik (Kumar, dkk., 2011).

Penanganan sampah plastik yang saat ini banyak diteliti dan dikembangkan adalah mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Dengan cara ini dua permasalahan penting bisa diatasi, yaitu bahaya menumpuknya sampah plastik dan diperolehnya kembali bahan bakar minyak yang merupakan salah satu bahan baku plastik. Teknologi untuk mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak yaitu dengan proses *cracking* (perekahan). Salah satu proses perekahan (*cracking*) adalah *thermal cracking*. Proses konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dengan metode *thermal cracking* dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain jenis plastik, temperatur *pyrolysis*, tipe reaktor *pyrolysis*, laju pemasukan kalor, temperatur kondensasi dan lain-lain.

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah *Naphta*, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya maupun kebutuhan energi prosesnya (Kumar, dkk., 2011).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu thermoplastik dan termosetting. Thermoplastik adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan termosetting adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan (UNEP, 2009). Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, thermoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang.

Jenis-jenis plastik yang paling sering diolah adalah polyethylene (PE), polypropylene (PP), polistirena (PS), polyethylene terephthalate (PET) dan polyvinyl chloride (PVC). Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi. Nomor kode plastik akan tercantum pada produk-produk berbahan plastik seperti gambar berikut ini.



Gambar 1 Nomor kode plastik (UNEP, 2009)

Pengetahuan sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur (T_m), temperatur transisi (T_g) dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perenggan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Budiyantoro, 2010).

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang pengolahan plastik menjadi bahan bakar minyak. Tamilkolundu dan Murugesan, 2012, melakukan penelitian dengan mengubah sampah plastik jenis PVC menjadi bahan bakar minyak. Bahan bakar minyak dari plastik PVC ini mempunyai densitas 7% lebih tinggi dari solar. Demikian juga dengan viskositasnya, lebih tinggi 300% dibanding solar. Selanjutnya bahan bakar minyak yang berasal dari sampah plastik tersebut dicampur dengan solar. Campuran bahan bakar ini diuji coba pada mesin diesel satu silinder. Unjuk kerja yang diamati antara lain konsumsi bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi termal. Solar yang dicampur dengan minyak dari plastik menghasilkan

unjuk kerja konsumsi bahan bakar yang lebih rendah dan efisiensi termal yang lebih tinggi.

Penelitian dengan jenis plastik yang lain dilakukan oleh Tubnonghee, dkk. (2010). Plastik yang diteliti untuk dijadikan bahan bakar minyak adalah jenis polyethylene (PE) dan polypropylene (PP). Pembuatan bahan bakar minyak dari plastik menggunakan proses thermal cracking (pyrolysis). Pyrolysis dilakukan pada temperatur 450 °C selama 2 jam. Gas yang terbentuk selanjutnya dikondensasikan menjadi minyak di dalam kondenser yang bertemperatur 21 °C. Minyak yang dihasilkan selanjutnya dianalisa dengan gas chromatography/mass spectrometry untuk mengetahui distribusi jumlah atom carbonnya. Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa komposisi minyak dari campuran plastik PE dan PP tersebut mempunyai jumlah atom Carbon yang setara dengan solar, yaitu C12 – C17.

Osueke dan Ofundu, 2011, melakukan penelitian konversi plastik low density polyethylene (LDPE) menjadi minyak. Proses konversi dilakukan dengan dua metode, yaitu dengan thermal cracking dan catalyst cracking. Pyrolysis dilakukan didalam tabung stainless steel yang dipanaskan dengan elemen pemanas listrik. Kondenser dengan temperatur 30 – 35 °C, digunakan untuk mengembunkan gas yang terbentuk setelah plastik dipanaskan menjadi minyak. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah silica alumina. Dari penelitian ini diketahui bahwa dengan temperatur pyrolysis 550°C dan perbandingan katalis/sampah plastik 1 : 4 dihasilkan minyak dengan jumlah paling banyak.

2. Metode Penelitian

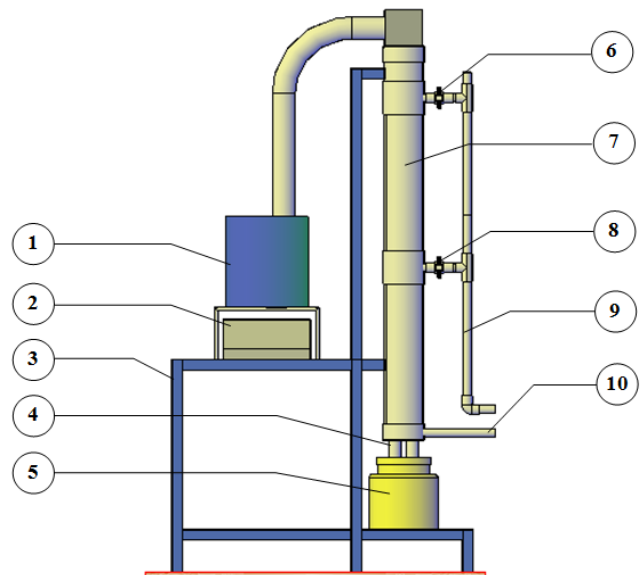
Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen. Penelitian dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Universitas Janabadra. Pengujian nilai kalor dilakukan di Laboratorium Pangan dan Gizi Universitas Gadjah Mada. Sedangkan pengujian GC-MS dilakukan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Gadjah Mada. Pada penelitian ini bahan yang digunakan antara lain: plastik tipe PE (kantong plastik), plastik tipe PP (gelas kemasan air mineral), plastik tipe PET (botol kemasan air mineral), dan LPG.

Pada penelitian ini peralatan yang akan digunakan antara lain alat pengolah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Alat ini adalah alat utama pada penelitian ini. Alat ini berfungsi untuk melelehkan dan menguapkan sampah plastik. Uap plastik kemudian dikondensasikan di dalam kondenser. Hasil kondensasinya ditampung di penampung minyak sedangkan gas yang tidak terkondensasi dialirkan ke burner untuk dibakar. Termokopel sebagai detektor temperatur ditempatkan di dalam kondenser dan di dalam tabung reaktor. Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur air di dalam kondenser dan juga untuk mengukur temperatur uap plastik di dalam tabung reaktor. Kompor LPG berfungsi sebagai sumber kalor untuk memanaskan plastik. Gelas ukur. digunakan untuk mengukur volume minyak yang

dihasilkan. Stop watch digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan untuk proses pengolahan plastik. Timbangan digunakan untuk menimbang plastik yang akan diproses dan minyak yang dihasilkan. GC-MS digunakan untuk mengetahui komposisi dari bahan bakar minyak yang dihasilkan.

Peralatan yang diperlukan selama proses pengujian alat pengolah sampah plastik, dipersiapkan dan disusun seperti terlihat pada Gambar 2. Langkah pengujian dimulai dengan menyiapkan masing-masing bahan yang berupa sampah plastik dengan memisahkan sesuai dengan jenisnya masing-masing. Timbang sampah plastik jenis PP sebanyak 0,5 kg dan masukkan ke dalam reaktor pemanas. Hidupkan pompa untuk mengalirkan air pendingin kondenser. Nyalakan kompor gas untuk memanaskan reaktor pemanas. Setelah semua plastik menguap seluruhnya, matikan kompor gas. Catat banyaknya BBM yang terkumpul di dalam tabung penampung. Bersihkan reaktor pemanas dari kotoran dan sisa-sisa plastik. Ulangi langkah pengujian untuk jenis plastik yang lain (PET dan PE).

Pengujian berikutnya dilakukan dengan tiga variasi laju pemasukan kalor. Pengujian ini dilakukan dengan mengatur laju keluarnya bahan bakar LPG. Langkah-langkah pengujiannya sama dengan pengujian sebelumnya tetapi hanya untuk bahan plastik tipe PP.



Keterangan:

- | | |
|---------------------|------------------------------|
| 1. Tabung Reaktor | 6. Kran atas |
| 2. Kompor gas | 7. Tabung Kondenser |
| 3. Rangka | 8. Kran bawah |
| 4. Pipa kondenser | 9. Pipa keluar air pendingin |
| 5. Penampung minyak | 10. Pipa masuk air pendingin |

Gambar 2. Instalasi alat pengolah sampah plastik menjadi minyak

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian dengan variasi jenis plastik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui proses dan karakteristik bahan bakar minyak yang dihasilkan dari plastik jenis PP, PET dan PE. Dari pengujian diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Proses pengolahan plastik PP, PET dan PE menjadi bahan bakar minyak

Jenis plastik	Kebutuhan LPG (gram)	BBM yang dihasilkan (ml)	Waktu yang diperlukan (menit)
PP	446	450	35
PET	659	-	75
PE	927	350	82

Dari data di atas diketahui bahwa ditinjau dari jumlah energi yang dibutuhkan dan jumlah minyak yang dihasilkan, plastik jenis PP adalah jenis plastik yang paling bagus bila diolah menjadi bahan bakar. Dapat dilihat pada pengolahan plastik PP, LPG yang dipakai adalah paling sedikit sedangkan jumlah minyak yang dihasilkan lebih banyak dari plastik jenis PE. Sedangkan dari penelitian ini diketahui bahwa plastik jenis PET tidak menghasilkan minyak sama sekali. Material yang keluar dari kondenser semacam serbuk berwarna kekuning-kuningan. Bahkan serbuk ini menempel di sepanjang saluran pipa. Dari hasil ini diketahui bahwa plastik tipe PET tidak potensial untuk diolah menjadi bahan bakar minyak.



Gambar 3. Minyak dari hasil pengolahan beberapa tipe sampah plastik

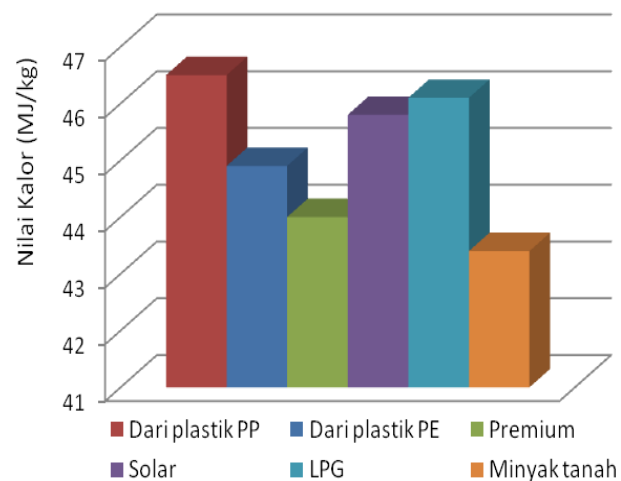
Pengujian karakteristik bahan bakar dari plastik dilakukan dengan menguji nilai kalornya. Karakteristik bahan bakar dari plastik ini juga dibandingkan dengan bahan bakar konvensional yaitu premium dan solar.

Dari pengujian nilai kalor diketahui bahwa bahan bakar yang diolah dari plastik PP dan PE memiliki nilai

kalor yang lebih tinggi dibanding bahan bakar yang lain. Nilai kalor dari plastik PP memiliki nilai kalor yang paling tinggi. Dari hasil pengujian di atas diketahui bahwa minyak dari pengolahan plastik potensial menjadi sumber energi.

Tabel 2. Nilai kalor bahan bakar dari plastik PP, PE dan beberapa bahan bakar lainnya

Jenis bahan bakar	Nilai kalor (MJ/kg)
Dari plastik PP	46,5
Dari plastik PE	44,9
Premium	44,0
Solar	45,8
LPG	46,1
Minyak tanah	43,4



Gambar 4. Nilai kalor minyak dari plastik PE dan PP dan beberapa bahan bakar

Dari Pengujian GC-MC diketahui bahwa minyak hasil pengolahan plastik tipe PP maupun PE mengandung jumlah atom karbon sebanyak 6 sampai 18. Dengan demikian minyak dari pengolahan plastik ini mendekati bahan bakar bensin dan minyak tanah.

3.2 Pengujian dengan variasi laju pembakaran

Pengujian proses pengolahan plastik menjadi minyak dengan variasi laju pemasukan kalor dilakukan dengan bahkan plastik tipe PP saja, karena dari pengujian sebelumnya diketahui hasil pengolahan plastik PP lebih baik dari plastik PE. Sementara untuk pengolahan plastik PET tidak dihasilkan bahan bakar cair. Hasil dari pengujian ini seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Proses pengolahan plastik PP dengan variasi laju pemasukan kalor

Laju pemasukan kalor	Kebutuhan LPG (gram)	BBM yang dihasilkan (ml)	Waktu yang diperlukan (menit)	Temperatur reaktor (°C)
Laju kalor 1	602	450	80	370
Laju kalor 2	446	450	35	410
Laju kalor 3	453,5	400	30	416

Dari hasil tabel 3 diketahui bahwa dengan laju kalor yang tinggi mengakibatkan kebutuhan LPG menjadi banyak, tetapi menghasilkan minyak yang sedikit. Hal ini disebabkan karena banyak uap plastik yang tidak terkondensasi sehingga masih berbentuk uap. Sedangkan untuk laju kalor yang kecil mengakibatkan proses pengolahan menjadi lama, sehingga juga menghabiskan LPG yang banyak. Dengan demikian, laju kalor yang paling baik adalah yang sedang. Untuk laju kalor yang sedang ini menghasilkan minyak yang lebih banyak, tetapi dengan LPG yang lebih sedikit dan waktu yang lebih cepat.

Dengan laju kalor yang berbeda, ternyata juga menghasilkan warna minyak yang berbeda. Perbedaan warna minyak yang dihasilkan dari masing-masing laju kalor dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Minyak dari hasil pengolahan plastik tipe PP dengan variasi laju kalor

3.2 Pengujian dengan variasi ketinggian air pendingin kondenser

Untuk pengujian ini digunakan plastik jenis PP. Dari pengujian dengan variasi ketinggian air pendingin kondenser diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4. Proses pengolahan plastik PP dengan variasi ketinggian air pendingin kondenser

Tinggi air kondenser	Kebutuhan LPG (gram)	BBM yang dihasilkan (ml)	Waktu yang diperlukan (menit)
50 cm	445	410	36
100 cm	446	450	35

Dari data tabel 4 diketahui bahwa dengan ketinggian air pendingin kondenser yang lebih rendah dihasilkan minyak yang lebih sedikit. Hal ini disebabkan kondensasi uap plastik menjadi minyak menjadi berkurang, sehingga sebagian uap plastik tidak terkondensasi dan masih berbentuk gas. Hal ini dibuktikan juga dengan lebih besarnya api pada burner pembakaran gas dari kondenser.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- Dari ketiga tipe plastik yang diuji, plastik tipe PP menghasilkan minyak paling banyak dengan kebutuhan LPG paling sedikit dan waktu proses paling cepat.
- Pada saat uji coba, plastik tipe PET tidak menghasilkan minyak tetapi menghasilkan material berbentuk serbuk.
- Minyak dari plastik tipe PP memiliki nilai kalor yang tinggi, lebih tinggi dari nilai kalor solar, bensin, LPG maupun minyak tanah.
- Laju kalor yang terlalu tinggi menyebabkan minyak yang dihasilkan berkurang, sedangkan laju kalor yang kecil menyebabkan waktu proses menjadi lama.
- Minyak yang dihasilkan dari pengolahan plastik PP dan PE berdasarkan kandungan atom karbonnya mendekati bensin dan minyak tanah.
- Ketinggian air pendingin kondenser yang lebih rendah dihasilkan minyak yang lebih sedikit.

Ucapan Terima Kasih

Kami sampaikan ucapan terima kasih kepada DP2M Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dukungan dana melalui Skim Penelitian Dosen Pemula.

Daftar Pustaka

- Budiyanoro, C. (2010) *Thermoplastik dalam Industri*, Teknika Media, Surakarta
- Das, S. dan Pande, S. (2007) *Pyrolysis and Catalytic Cracking of Municipal Plastic Waste for Recovery of Gasoline Range Hydrocarbons*, Thesis, Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela
- Fahlevi, M.R. (2012) Sampah Plastik (<http://rizafahlevi.blogspot.com/2012/01/twit-sampah-plastik.html>)
- Kumar S., Panda, A.K., dan Singh, R.K. (2011) *A Review on Tertiary Recycling of High-Density Polyethylene to Fuel*, Resources, Conservation and Recycling Vol. 55 893– 910

- Kurniawan, A. (2012) *Mengenal Kode Kemasan Plastik yang Aman dan Tidak*
(<http://ngeblogging.wordpress.com/2012/06/14/mengenal-kode-kemasan-plastik-yang-aman-dan-tidak/>)
- Osueke dan Ofundu (2011) *Conversion of Waste Plastics (Polyethylene) to Fuel by Means of Pyrolysis*, (IJAEST) International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies, Vol. No. 4, Issue No. 1, 021 – 024
- Panda, A.K. (2011) *Studies on Process Optimization for Production of Liquid Fuels from Waste Plastics*, Thesis, Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela
- Sahwan, F.L., Martono, D.H., Wahyono, S., Wisoyodharmo, L.A. (2005) *Sistem Pengolahan Limbah Plastik di Indonesia*, Jurnal Teknik Lingkungan BPPT 6 (1), halaman 311 – 318
- Tamilkolundu, S. dan Murugesan, C. (2012) *The Evaluation of blend of Waste Plastic Oil-Diesel fuel for use as alternate fuel for transportation*, 2nd International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences (ICCEES'2012) Singapore April 28-29, 2012
- Tubnonghee. R., Sanongraj, S., Sanongraj, W. (2010) *Comparative Characteristics of Derived Plastic Oil and Commercial Diesel Oil*, The 8th Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environmental Technologies (APRC2010), Ubon Ratchathani University, Ubonratchathani, Thailand
- UNEP (United Nations Environment Programme), (2009) *Converting Waste Plastics Into a Resource*, Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga